

LA RHEOLOGIE

La rhéologie vient du grec RHEO = Ecoulement et LOGIE = étude. Ce qui donne l'interprétation suivante : Etude ou Science de l'écoulement.

Sommaire :

- 1. DEFINITIONS**
- 2. LES DIFFERENTS TYPES DE DEFORMATIONS**
- 3. LE COMPORTEMENT DES MATERIAUX**

Introduction :

La rhéologie est une branche de la physique qui étudie l'écoulement ou la déformation des corps sous l'effet des contraintes qui leur sont appliquées, compte tenu de la vitesse d'application de ces contraintes ou plus généralement de leur variation au cours du temps .

Les procédés de préparation des produits (solutions , pâtes , etc...) ou de formage de pièces (en métallurgie , en plasturgie , etc ...) nécessitent l'écoulement de la matière , il est donc nécessaire de connaître le comportement de cette matière pour déterminer les forces à mettre en jeu .

Définitions :

Les matériaux qui concernent le domaine de la rhéologie, possèdent des propriétés à la fois élastiques (temps courts) et visqueuses (temps longs). Lorsque l'on jette une boule de pâte à modeler sur un mur, elle rebondit (temps court), alors que si on la pose sur un coin de table, elle finit, au bout d'un certain temps, par s'écouler (temps longs). On définit ainsi le temps comme caractéristique du comportement rhéologique du matériau. Un aspect très important concerne la viscosité de ces matériaux qui dépend du gradient de vitesse. Ce qui nous amène à parler de matériaux visco-élastiques.

La viscosité est donc définie comme la résistance à l'écoulement. Sous l'influence de forces faibles, comme celle de la gravité, certains matériaux s'écoulent facilement, tels que les liquides (l'eau, le mercure,...), donc de viscosité faible. D'autres, leur écoulement devient plus lent donc la viscosité est plus élevée.

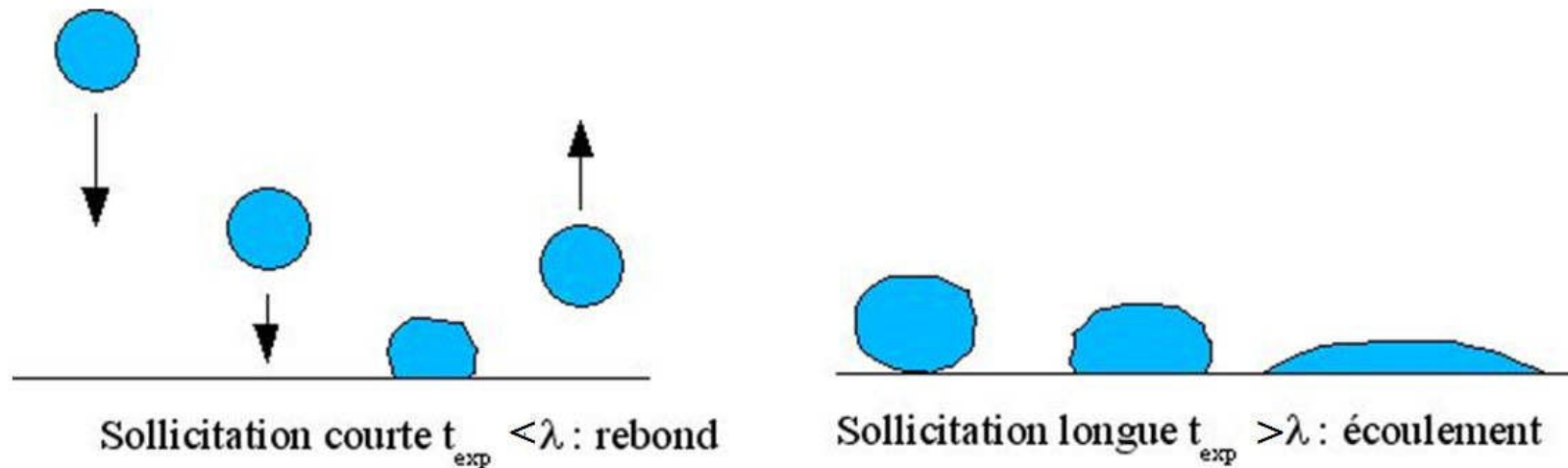
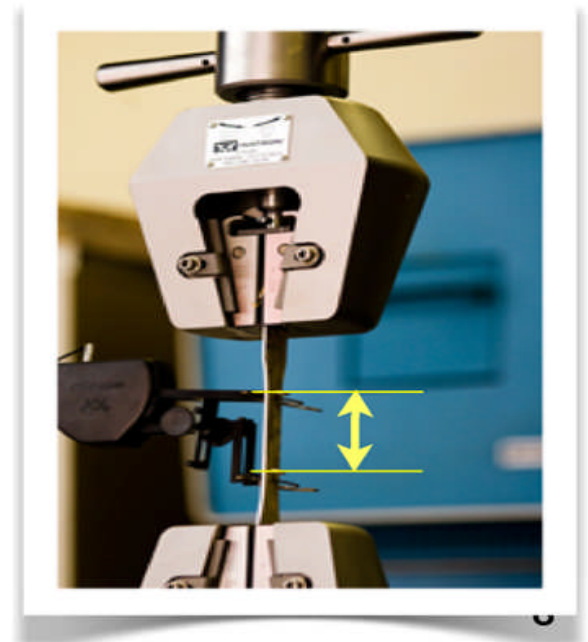
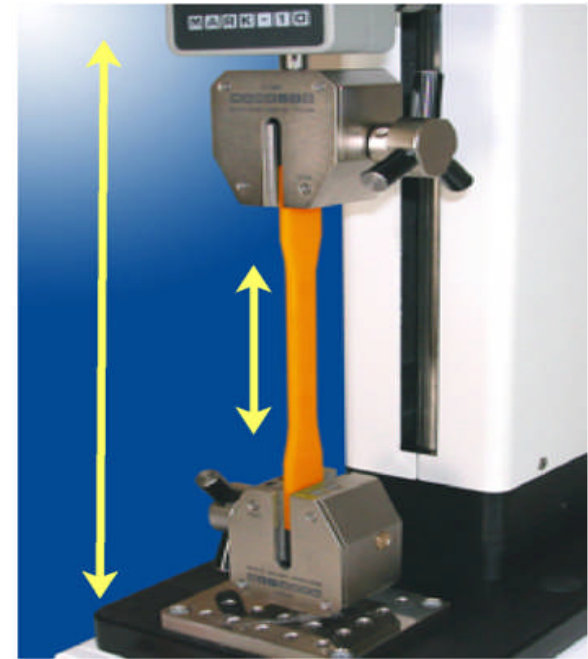
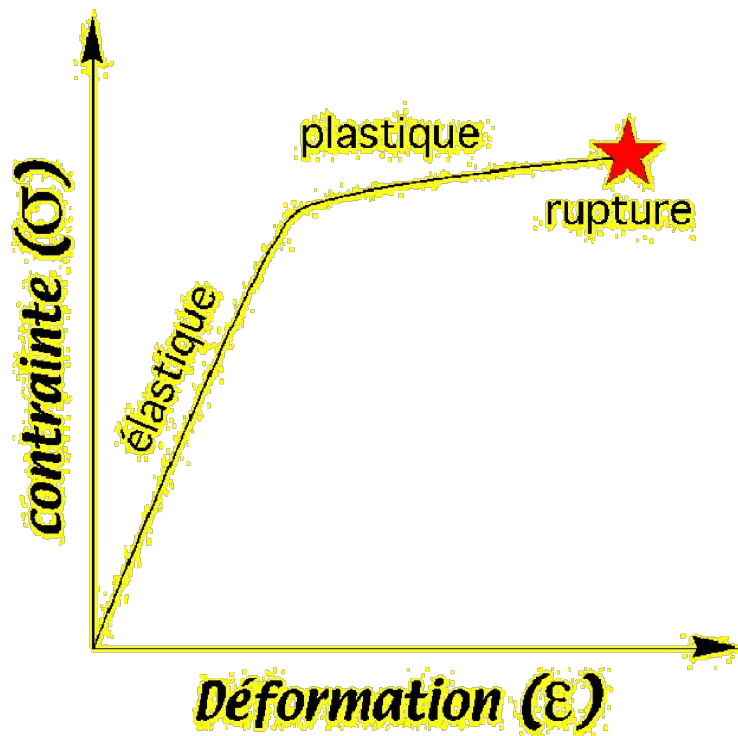


Fig. 1: Comportement élastique et visqueux d'un échantillon visco-élastique.

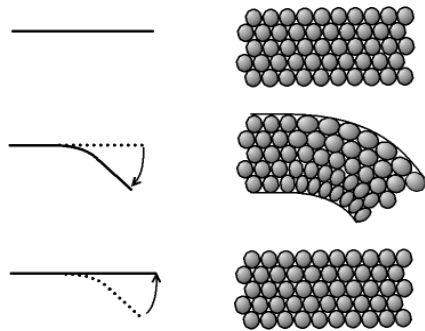
Types de déformations des matériaux :

- La **déformation élastique** qui est une déformation réversible
- La **déformation plastique** qui est une déformation irréversible
- La **rupture** qui est la formation d'un plan de fracture permanent dans le matériau



1. 1. LA DEFORMATION ELASTIQUE

La déformation élastique se caractérise par une modification de la position des atomes du matériau auquel on applique une force. Lorsque la force cesse, les atomes retrouvent leur position d'origine. La déformation est réversible.

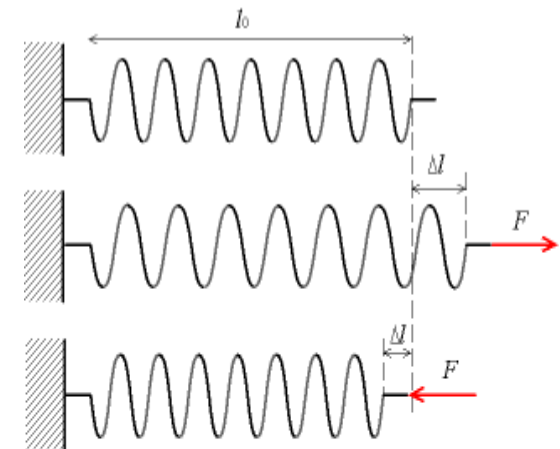
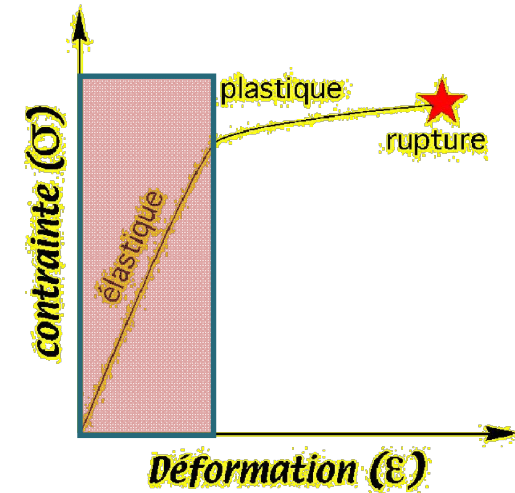


Selon le graphique, c'est une **déformation proportionnelle aux contraintes appliquées** (la courbe est linéaire).

Un **modèle simple d'étude** de déformation plastique est celui du ressort : une force **F** appliquée au ressort modifie sa longueur ΔL . La relation entre **F** et ΔL est proportionnelle :

$$F = k. \Delta L \quad \text{ou encore} \quad F = k. (l_1 - l_0)$$

Où **k** est la constante de raideur du ressort



Si l'on généralise à un solide dont la forme diffère de celle du ressort alors on divise la force par la surface du matériau où elle s'applique : on travaille donc avec une **contrainte** (en MPa) :

$$\sigma = F/S$$

La déformation appelée allongement relatif ϵ est une grandeur sans dimension égale à l'allongement divisé par la longueur initiale l

$$\epsilon = (l_1 - l_0) / l_0$$

La loi de Hooke définit le comportement du solide soumis à une contrainte et qui se déforme de façon élastique : la déformation est proportionnelle à la contrainte.

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad \text{Loi d'élasticité (ou loi de Hooke)}$$

Où E est le module de young, qui est une caractéristique du matériau.

On retrouve ainsi une relation linéaire, valable pour une déformation élastique de faible amplitude (CF graphe).

Quelle signification au module de Young?

Young, un physicien britannique, avait démontré la relation de proportionnalité entre contrainte et déformation.

Le module de Young appelé encore module d'élasticité est exprimé en unité de pression (MPa)

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad \text{donc} \quad E = \sigma / \epsilon$$

Or ϵ est sans dimension et σ est une contrainte (donc une pression)

E correspond à la contrainte nécessaire afin d'obtenir un allongement relatif maximal = 100% ($\epsilon=1$).

Dans ce cas : $E = \sigma$

Signification du module de Young ?

Le module de Young est une pression exprimée en MPa (méga-Pascal) :

$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$$

$$1\text{MPa} = 10^6\text{Pa} = 10$$

$$\longrightarrow 1\text{MPa} = 1\text{N/mm}^2$$

Or $1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$, donc :

$$1\text{MPa} = 10\text{bars}$$

Tableau 1 : Alliages

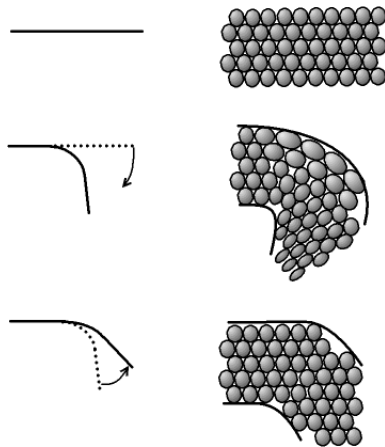
Alliage	Valeur du module de Young (MPa)
Acier	210 000
Bronze	124 000

Tableau 2: Métaux purs

Élément	Valeur du module de Young (MPa)
Fer	196 000
Or	78 000
Tungstène	406 000
Plomb	18 000

1. 2. LA DEFORMATION PLASTIQUE

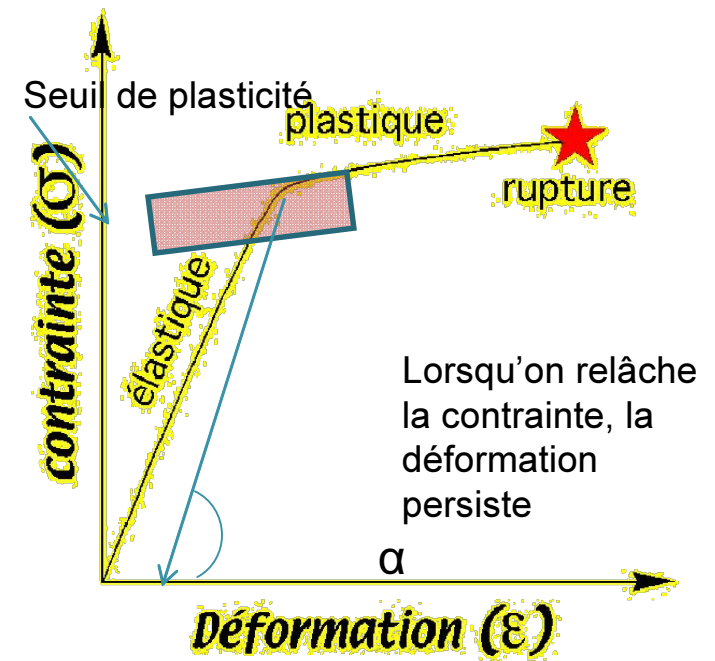
La déformation plastique se caractérise par une modification de la position des atomes du matériau auquel on applique une force. Lorsque cette force cesse, les atomes ne retrouvent pas leur position d'origine : la déformation est irréversible.



La déformation plastique accompagne la déformation élastique. Elle se manifeste lorsque la contrainte atteint un seuil de plasticité.

Alors la relation entre la contrainte appliquée et la déformation n'est plus linéaire.

Ainsi, en reprenant le modèle du ressort, celui-ci va se déformer de façon plastique si on lui applique une force qui dépasse sa capacité de déformation élastique.



Dans ce cas,
 $\tan(\alpha) = \sigma/\epsilon = E$ (module de Young)

1. 4. LA RUPTURE : DEFORMATION CASSANTE

Une contrainte maximale peut aboutir à une rupture du matériau : c'est la contrainte maximale.

Cette contrainte est très faible par rapport au module de Young :

Ex du verre : (avec un module de Young = 70 000 MPa)

La contrainte maximale est de : 3 600 MPa (ce qui correspond seulement à 5% de la déformation à 100%)

Lorsqu'une contrainte est appliquée sur le matériau, il se déforme et stocke de l'énergie élastique.

Au-delà d'une certaine contrainte, la fracture commence à apparaître. Après quoi, son ouverture se poursuit de manière catastrophique, jusqu'à la rupture macroscopique du matériau.

